

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу и автореферат Кожановой Марии Юрьевны  
«Влияние облучения электронами высоких энергий на структуру и механические  
свойства полимерного материала полидициклопентадиена»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

### Актуальность

Низкие прочностные характеристики полимеров на основе норборненов, синтезированных методом polyHIPE, не соответствуют требованиям, предъявляемым к конструкционным материалам. Указанный недостаток препятствует использованию материалов polyHIPE в авиакосмической промышленности, судостроении, радиоэлектронике, химическом и медицинском приборостроении.

Поэтому является актуальным проведение исследований, направленных на улучшение механических свойств материалов polyHIPE. Перспективным подходом для улучшения прочностных характеристик полимерных материалов polyHIPE может быть применение радиационных технологий.

В диссертационной работе М.Ю. Кожановой «Влияние облучения электронами высоких энергий на структуру и механические свойства полимерного материала полидициклопентадиена» отмечается актуальность изучения закономерностей радиационной модификации одного из представителей полимеров polyHIPE, - полидициклопентадиена (ПДЦПД), и установления влияния пористости структуры ПДЦПД на изменение механических свойств облученного полимера. Отмечено, что исследование влияния ионизирующего излучения (ИИ) на физико-механические свойства ПДЦПД, и установление механизма радиолиза полимера, представляет значительный научный и практический интерес.

Анализ степени проработанности темы диссертационного исследования показал, что в настоящее время практически отсутствуют данные о закономерностях и механизме радиолиза пористых полимеров polyHIPE.

Цель диссертационной работы – исследование структурных и прочностных свойств радиационно-модифицированного материала полидициклопентадиена в зависимости от поглощенной дозы, вида излучения и способа синтеза материала. Для достижения данной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Разработать способ синтеза полидициклопентадиена по polyHIPE-технологии, произвести синтез полимерных материалов по ROMP- и polyHIPE-технологиям.
2. Исследовать изменение структурных параметров материала в результате радиационной модификации в зависимости от поглощенной дозы, разработать способ выделения гель-фракции и определить её содержание в материале.
3. Исследовать влияние облучения электронами высоких энергий на прочностные характеристики polyHIPE-ПДЦПД, поверхность пористость радиационно-модифицированного материала.

4. Исследовать механические свойства радиационно-модифицированного ускоренными электронами и  $\gamma$ -излучением полидициклопентадиена в зависимости от поглощенной дозы.

5. Построить математическую модель радиационной модификации материала излучением.

#### Наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем

1. Способ синтеза материала polyHIPE-ПДЦПД с заданными свойствами, относительно высокими значениями прочностных характеристик (не ниже 0,2 МПа) при высокой пористости (от 70%).

2. Способ определения содержания гель фракции в облученном материале ПДЦПД, синтезированном по технологии polyHIPE. Экспериментально-расчетные данные по содержанию гель фракции при проведении радиационной модификации polyHIPE-полидициклопентадиена по разработанной методике выделения, облученного различными дозами в интервале от 0 до 100 кГр.

3. Результат экспериментальных данных зависимости предела прочности от содержания золь фракции, полученных для условий синтеза материала из ПДЦПД по технологии polyHIPE.

4. Доказательства восстановления прочности образцов материала из ПДЦПД, синтезированных по ROMP-технологии, при облучении высокоэнергетическими электронами или фотонами.

5. Результат расчета радиационных и ионизационных потерь для различной толщины материала из ПДЦПД в условиях равномерного моноэнергетического электронного облучения.

#### Оценка новизны научных результатов

Научная новизна диссертации М.Ю. Кожановой «Влияние облучения электронами высоких энергий на структуру и механические свойства полимерного материала полидициклопентадиена» заключается в следующем:

- установлено, что при облучении высокоэнергетическими электронами деформационно-прочностные свойства polyHIPE-ПДЦПД от поглощенной дозы ИИ изменяются неравномерно. Впервые построена для данного материала кинетическая модель модификации структуры полимерного материала в результате взаимодействия с ионизирующим излучением;
- методом сканирующей электронной микроскопии показано, что при взаимодействии с ИИ в материале из polyHIPE-ПДЦПД происходят глубокие структурные изменения;
- впервые применен способ модификации свойств ПДЦПД посредством ионизирующего излучения;

- показано, что под действием электронного облучения ПДЦПД, помимо происходящего распада молекулярной цепи, в области малых доз сшивание преобладает над деструкцией;
- независимым методом подтверждено наличие процесса сшивания полимерного материала при радиационной модификации, впервые разработанным для данного материала способом определения содержания гель фракции для ПДЦПД, синтезированного по технологии polyHIPE;
- структурные изменения, проходящие на молекулярном уровне, которые были обнаружены в результате экстракции гель-фракции, подтверждены независимым исследованием структуры образцов методом сканирующей электронной микроскопии. На основании результатов анализа экспериментальных данных впервые построена кинетическая модель модификации числа связей полимера в процессе его радиационного облучения.

### Значение полученных результатов для теории и практики

Теоретическая значимость диссертации М.Ю. Кожановой «Влияние облучения электронами высоких энергий на структуру и механические свойства полимерного материала полидициклопентадиена» заключается в следующем:

- впервые построена математическая модель расчёта ионизационных и радиационных потерь для polyHIPE-ПДЦПД,
- предложена модель сшивания трёхмерной структуры полимерного материала в результате облучения ионизирующим излучением.

Практическая значимость заключается в следующем:

- разработан способ получения материала полидициклопентадиена по polyHIPE-технологии с заданными прочностными характеристиками;
- разработанная программа для расчёта поглощенной энергии в т.ч. для polyHIPE-ПДЦПД позволяет визуализировать зависимость затрат энергии на радиационные и ионизационные потери в зависимости от толщины материала. Проведена оценка поверхностной пористости материала и изменение ее значений после облучения.

### Общие замечания

1. В подразделе 2.4 не указано, каким образом осуществляли дозиметрию при проведении электронного облучения экспериментальных образцов polyHIPE-ПДЦПД.

2. В процессе математического моделирования не учитывается гетерогенность полимерного образца. Также желательно привести оценки эффекта страгглинга, возникающего в конце пробега электронов, для исследованных образцов ПДЦПД.

3. Оценка радиационно-индукционных изменений пористой структуры была сделана посредством анализа электронно-микроскопических изображений микроструктуры поверхности экспериментальных образцов polyHIPE-ПДЦПД,

облученных до разных доз. Желательно использовать традиционно используемые параметры пористой структуры - величина площади удельной поверхности, распределение пор по размерам, - для оценки обнаруженных радиационно-индукционных эффектов в свойствах изученных полимерных образцов.

#### Оценка языка и стиля автореферата

1. Название автореферата и диссертационной работы соответствует содержанию. Количество иллюстраций достаточно для раскрытия существа полученных результатов. Текст автореферата и диссертации не содержит существенных орфографических или стилистических ошибок.
2. Нарушен порядок цитирования: на страницах 4 – 11 текста диссертации нумерация ссылок на источники литературы возрастает от [1] до [23]. Однако на страницах 12-14, в подпункте «Объем и структура диссертационной работы» появляются ссылки №№ [27 – 38], [106, 107].
3. В подразделах 1.5.1, 1.5.2 литературного обзора отсутствуют ссылки на литературные источники.

#### Заключение

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация работы М.Ю. Кожановой «Влияние облучения электронами высоких энергий на структуру и механические свойства полимерного материала полидициклогептадиена» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» в части п. 4 «Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ» и п. 6 «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами», а также критериям, определённым п.п. 2.9-2.14, а также оформлена согласно п. 3.15 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013.

Таким образом, соискатель Кожанова Мария Юрьевна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» (технические науки).

Старший научный сотрудник  
кафедры ХВЭиРЭ РХТУ  
им. Д.И. Менделеева,  
кандидат химических наук, доцент  
« 14 » января 2022 г.

*Смолян* —

А.С. Смолянский

Контактные данные:

Тел.: +7 (915) 200-20-82, e-mail: [assafci@gmail.com](mailto:assafci@gmail.com)

Специальность, по которой автором отзыва защищена диссертация:  
02.00.09 – «Радиационная химия»

Адрес места работы:

125047, Москва, Миусская площадь, д. 9,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
кафедра химии высоких энергий и радиоэкологии  
Тел.: +7 (495) 948-91-08, e-mail: [eldar@muctr.ru](mailto:eldar@muctr.ru)

«Подпись Смолянского А.С. Смолянинов заверяю»

Учёный секретарь  
РХТУ им. Д.И. Менделеева

Н.К. Калинина

